

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5991917号
(P5991917)

(45) 発行日 平成28年9月14日 (2016.9.14)

(24) 登録日 平成28年8月26日 (2016.8.26)

(51) Int. Cl. F I
A 6 1 B 8/08 (2006.01) A 6 1 B 8/08
G O 1 N 29/22 (2006.01) G O 1 N 29/22

請求項の数 7 (全 20 頁)

| | | | |
|---------------|-------------------------------|-----------|---------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2012-520129 (P2012-520129) | (73) 特許権者 | 590000248 |
| (86) (22) 出願日 | 平成22年6月23日 (2010.6.23) | | コーニンクレッカ フィリップス エヌ |
| (65) 公表番号 | 特表2012-533329 (P2012-533329A) | | ヴェ |
| (43) 公表日 | 平成24年12月27日 (2012.12.27) | | KONINKLIJKE PHILIPS |
| (86) 国際出願番号 | PCT/IB2010/052863 | | N. V. |
| (87) 国際公開番号 | W02011/007278 | | オランダ国 5656 アーエー アイン |
| (87) 国際公開日 | 平成23年1月20日 (2011.1.20) | | ドーフエン ハイテック キャンパス 5 |
| 審査請求日 | 平成25年6月19日 (2013.6.19) | | High Tech Campus 5, |
| 審査番号 | 不服2015-5153 (P2015-5153/J1) | (74) 代理人 | 100087789 |
| 審査請求日 | 平成27年3月17日 (2015.3.17) | | 弁理士 津軽 進 |
| (31) 優先権主張番号 | 61/226, 485 | (74) 代理人 | 100122769 |
| (32) 優先日 | 平成21年7月17日 (2009.7.17) | | 弁理士 笛田 秀仙 |
| (33) 優先権主張国 | 米国 (US) | | |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 空間的に精細な横波分散超音波振動測定サンプリング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

横波分散超音波振動測定 (SDUV) を実行する方法であって、
 単色横波成分を持つ横波を作るステップと、
第一の単一のトラッキングパルスから、前記単色横波成分の測定を行うための第一の複数の平行方向受信ラインを形成するステップと、
少なくとも第二の単一のトラッキングパルスから、前記単色横波成分の測定を行うための少なくとも第二の複数の平行方向受信ラインを形成するステップと、
前記第一の複数の平行方向受信ラインと、前記少なくとも第二の複数の平行方向受信ラインのうち、同一の空間位置における前記横波を測定するものをそれぞれ組み合わせて、
複数の再生 A ラインを形成するステップとを有し、
 前記各平行方向受信ラインが (i) 前記各単一のトラッキングパルスの送信後に目標位置から受信されるエコーデータから形成され、(ii) 空間的に平行な動的に形成される受信ラインを有する、
 方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法であって、前記少なくとも第二の単一のトラッキングパルスが前記第一の単一のトラッキングパルスと異なる時点のトラッキングパルスを有する、方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の方法であって、前記測定を行うステップが、各目標位置において前記

単色横波成分の振幅測定を行うステップを有する方法。

【請求項 4】

横波分散超音波振動測定 (SDUV) を実行する装置であって、

単色横波成分を持つ横波を作るための手段と、

第一の単一のトラッキングパルスから、単色横波成分の測定を行うための第一の複数の平行方向受信ラインを形成する手段と、

少なくとも第二の単一のトラッキングパルスから、前記単色横波成分の測定を行うための少なくとも第二の複数の平行方向受信ラインを形成する手段とを有し、

前記各平行方向受信ラインが (i) 前記各単一のトラッキングパルスの送信後に目標位置から受信されるエコーデータから形成され、(ii) 空間的に平行な動的に形成される受信ラインを有し、

前記第一の複数の平行方向受信ラインと、前記少なくとも第二の複数の平行方向受信ラインのうち、同一の空間位置における前記横波を測定するものをそれぞれ組み合わせて、複数の再生 A ラインが形成される、

装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の装置であって、前記第一の単一のトラッキングパルス及び少なくとも 1 つの他の横方向にオフセットされたトラッキングパルスが共通の深さに収束され、当該装置が、前記共通の深さに収束された各トラッキングパルスからのエコーデータに基づいて、前記共通の深さより浅い送信焦点を再構築する手段をさらに有する、装置。

【請求項 6】

請求項 4 に記載の装置であって、1 以上の集積回路として実施化された装置。

【請求項 7】

複数の動作を介して横波分散超音波振動測定 (SDUV) を実行するための、プロセッサにより実行可能な命令を含むコンピュータプログラムを具現化する非一時的コンピュータ可読媒体であって、前記複数の動作が、

単色横波成分を持つ横波を作る動作と、

第一の単一のトラッキングパルスから、前記単色横波成分の測定を行うための第一の複数の平行方向受信ラインを形成する動作と、

少なくとも第二の単一のトラッキングパルスから、前記単色横波成分の測定を行うための少なくとも第二の複数の平行方向受信ラインを形成する動作と、

前記第一の複数の平行方向受信ラインと、前記少なくとも第二の複数の平行方向受信ラインのうち、同一の空間位置における前記横波を測定するものをそれぞれ組み合わせて、複数の再生 A ラインを形成する動作とを有し、

前記各平行方向受信ラインが (i) 前記各単一のトラッキングパルスの送信後に目標位置から受信されるエコーデータから形成され、(ii) 空間的に平行な動的に形成される受信ラインを有する、

非一時的コンピュータ可読媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は横波の測定に係り、更に詳細には横波分散超音波振動測定法 (SDUV) による斯かる測定の実行に関する。

【背景技術】

【0002】

生体組織のメカニカルな変化は、病理的な変化と相関している。健康な及び病的な組織の間では、剪断弾性係数 (硬さ) 及び粘度が著しく変化し得る。過去 10 年にわたる超音波弾性画像化開発の出現により、多くの臨床的研究は、組織の粘弾性的特性が医師に対して一層良好なガン診断及び治療評価のための有効な情報を提供することを示している。

【0003】

横波分散超音波振動測定法 (SDUV: Shear Wave Dispersion Ultrasound Vibrometry) は、横波速度の分散を特徴付けることにより (即ち、周波数により) 組織の剪断弾性及び粘度を測定する音響放射圧に基づく技術である。この技術の応用は、肝線維症及び肝硬変のステージを決定するための肝臓の硬さの非侵襲性測定である。

【0004】

医療画像化の目的のための超音波による診断は、しばしば、縦波を利用する。人体組織において、超音波は波の形で伝搬する。実際には、全伝搬経路に沿う粒子が、その場で、前後に振動し、該振動は伝搬方向に生じる。斯かる振動は圧縮及び希薄 (疎) を形成する。これらは、シヌソイドのピーク (山) 及び谷としてモデル化される。エネルギーは振動的な粒子運動により目標に伝達され、戻される。

10

【0005】

対照的に、超音波剪断 (即ち、横) 波は、伝搬方向に対して垂直な往復面内運動により特徴付けられる。振動は一方向ではピークを形成し、他方向では谷を形成する。

【0006】

SDUVを実行することは、一連の収束された縦波のプッシュパルスの送出を伴う。これらパルスは、(例えば) 100 Hz の繰り返しレートで発射される高い強度で狭い帯域幅の信号である。これらパルスのうちの幾つかは、各々が横方向に一致して同一方向に発射された後、これらは、焦点を外れて、上記プッシュパルスのものに対して垂直な方向に伝搬するような横波を確立する。焦点深度は、該横波が関心領域 (ROI) を介して進行するように選択されている。

20

【0007】

横波の振幅をサンプリング点において評価するために、縦波のトラッキングパルスが ROI に対して放出される。この測定は、サンプリングされた位置における横波の位相を推定する際に使用される。

【0008】

他の位置をサンプリングするために、他のプッシュパルスが同じプッシング焦点に対して生じ、これには当該位置に対するトラッキングパルスが後続する。この第2サイクルは、2つの点の間の位相の差が弾性及び粘度の決定の際に使用される故に必要となる。

【0009】

上記プッシュ (プッシング) パルスの包絡線は矩形波であるので、典型的には 100 Hz の周波数の横波及び高調波 (200 Hz、300 Hz、400 Hz)、即ち成分 (又は "単色横波") が存在する。異なる周波数における速度推定が、組織の横波弾性及び粘度を導出する際に使用される。

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

従来技術の欠点を、以下に説明する。

【0011】

SDUVを用いて放射圧誘起横波を検出することに関連する1つの大きな挑戦は、相対的に小さな振幅振動である。軸方向変位は、10 μm のオーダーである。従って、振動振幅はノイズに影響されやすい。システム電子系のノイズ及び心臓の又は呼吸の運動等の患者の動きは、横波変位推定に対して大きなノイズとなる。

40

【0012】

加えて、横波を検出するために高速画像化が必要とされる。400 Hz までの振動が記録されねばならない。何故なら、より高い周波数の横波が媒体により減衰されるからである。従って、ナイキスト閾を安全に超過するために、エイリアシングを回避するために、各空間位置は 1000 Hz より高い周波数でサンプリングされねばならない。トラッキングパルスの繰り返し周波数は組織内での音速及び ROI の深さにより制限されるので、このことは、従来の非マルチライン検出シーケンスを用いてサンプリングすることが可能な空間位置の数を制限する。

50

【課題を解決するための手段】

【0013】

以下に提案するマルチラインビーム形成器を用いることは、一層精細な変位場の空間サンプリング及び/又は高さ方向(elevation)及び横方向(lateral)の両画像化面における空間サンプリングを可能にする(従来の1Dアレイに対して2Dアレイを用いる場合)。検出パルスの各々から一層多くの情報が抽出されるので、SDUVからの弾性の尺度の強さが増加される。従って、追加される利点として、当該手順において費やされる合計時間を短縮することができる。このことは、患者の都合良さの観点からも、及び励起点へのプッシュの繰り返される供給からの熱的効果の潜在的影響を低減するためにも有利である。更に、ラジオ周波数(RF)のデータ収集の速度の増加は、高速での高空間解像度を必要とする他の横波画像化/定量化技術の採用のための道を開く。

10

【0014】

本発明の1つのバージョンにおいて、横波分散超音波振動測定(SDUV)は、単一のトラッキングパルスから、単色横波(monochromatic shear wave)の測定を行うための平行方向(in-parallel-directed)受信ラインを形成することにより実行される。

【0015】

一態様として、少なくとも1つの他のトラッキングパルスから、被写界深度を増加させるために、結果としての受信ラインを重ね合わせるように上記形成が実行される。

【0016】

更に詳細には、幾つかの実施例において、上記増加は、少なくとも1つの再生Aライン(reconstructed A-line)を形成するために前記重ね合わされた受信ラインから組み合わせるステップを伴う。

20

【0017】

関連する他の可能性のある態様は、前記少なくとも1つの他のトラッキングパルスのうちの異なる時点のトラッキングパルスから、前記組み合わせるステップにより形成された対応する複数の再生Aラインを形成するステップを含む。

【0018】

特定の実施例として、測定の実行は、前記単色横波の振幅測定を行うステップを含む。

【0019】

ここに提案されるものは、横波分散超音波振動測定(SDUV)を実行する装置であって、単一のトラッキングパルスから、単色横波の測定を行うための複数の平行方向受信ラインを形成するように構成された装置として実施化することができる。

30

【0020】

このような装置は、前記トラッキングパルス及び少なくとも1つの横方向にオフセットされたトラッキングパルスが共通の深さに収束され、当該装置が、前記深さに収束されたパルスからのエコーデータに基づいて、より浅い送信焦点を再構築するよう構成されることを特徴とする。

【0021】

又は、代替的な若しくは補足的な態様において、当該装置は、少なくとも1つの他のトラッキングパルスのために且つ受信ラインを重ね合わせるように斯様な形成を行うよう構成されると共に、更に、位相差を決定する場合にサンプル間波伝搬を補正するためにパルス発射時点を補間するよう構成される。

40

【0022】

一形態において、横波分散超音波振動測定(SDUV)を実行するためのコンピュータソフトウェア製品は、単一のトラッキングパルスから単色横波の測定を行うための複数の平行方向受信ラインを形成するためにプロセッサによって実行可能な命令を含むコンピュータプログラムを具現化するコンピュータ読取可能な媒体を含む。

【0023】

更に、幾つかのバージョンにおいて、横波分散超音波振動測定(SDUV)を実行する方法は、複数の位置にわたる複数のパスにより該複数の位置にわたって、単色横波の測定

50

を行うためにインターレースされたパターンでサンプリングするステップを有する。

【0024】

これらのバージョンの特定の変形例において、前記複数のパスのうちの1つにおいてサンプリングされた位置は、前記複数のパスのうちの次の1つにおいてサンプリングされた位置とインターリーブする。

【0025】

可能性のある態様として、複数のパスにわたる前記複数の位置のうちの所与の1つの位置における前記サンプリングの結果は基準Aラインと比較されて、該位置における前記単色横波の変位を決定する。

【0026】

同様に、幾つかの態様において、横波分散超音波振動測定(SDUV)を実行する装置は、複数の位置にわたる複数のパスにより、単色横波の測定を行うためにインターレースされたパターンで前記複数の位置にわたりサンプリングするよう構成される。

【0027】

ここで提案されるものは、同様に、横波分散超音波振動測定(SDUV)を実行する方法であって、単色横波の測定を行うステップと、前記測定の数値に対して、異なる空間位置における前記波の位相の間の差を決定する必要性無しに、前記波の対応する候補速度に同調されたフィルタのバンクを適用するステップとを含む方法の形態をとることができる。

【0028】

更なる態様において、前記適用するステップの準備としてノイズを低減するために、前記測定の数値に対してローパスフィルタを用いることができる。

【0029】

更に他の態様において、前記バンク内のフィルタは二次元のものであり、一方の次元が空間位置であり、他方の次元は時間である。

【0030】

更なる態様において、横波分散超音波振動測定(SDUV)を実行する装置は、単色横波の測定を行うと共に、前記測定の数値に対して、全て異なる空間位置における前記波の位相の間の差を決定する必要性無しに、前記波の対応する候補速度に同調されたフィルタのバンクを適用するよう構成される。

【0031】

更なる追加の態様として、上述した装置は、1以上の集積回路として実施化することができる。

【0032】

SDUVのための該新規な高精細サンプリング方法の詳細を、添付図面を参照して後述する。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】図1は、2つの連続したSDUVサンプルを例示する概要図である。

【図2】図2は、順次のSDUVトラッキングを例示する時間記録である。

【図3】図3は、図2の時間記録に対応するフローチャートである。

【図4】図4は、16xマルチラインビーム形成器上で実施される遡及的ダイナミック送信(RDT)を用いたSDUVサンプル収集を例示する概略送信/受信図である。

【図5】図5は、RDTの関連で、可能性のある検出ビーム送信焦点の配置を示す概要図である。

【図6】図6は、例示的なインターレースされたサンプリング方法のグラフ表示である。

【図7】図7は、組織の剪断弾性及び粘度を如何にして決定するかの例としての特定の実施例を表すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0034】

最初に、より速いサンプリングを有するSDUVの1つのバージョンに関して一般的な

10

20

30

40

50

説明を行う。それに続くものは、この文脈においては図4で開始する、一層精細な空間サンプリングに関する他の例示的發展である。

【0035】

図1は、2つの連続するSDUVサンプルの間の関係を、解説的な制限するものでない例として示す。超音波プッシングプローブ (pushing probe) 104が、超音波トラッキングプローブ (図示略) により各サンプリング時刻 t_1 、 t_2 において放出される第1及び第2トラッキングパルス108、112と共に示されている。プッシングプローブ104は、横波115を確立するために一連の収束されたプッシングパルス (又は"プッシュ") 114を送出し、該横波の周波数成分 (即ち"単色横波") が第1トレース116により表されている。組織はy方向に沿って振動し、横波115はx方向に沿って伝搬する。

10

【0036】

プッシング及びトラッキングのために2つの別個のプッシングを各々使用することもできる。しかしながら、このタイプの嵩張る構造は、臨床用途にとっては実用的でない。

【0037】

更に、別個の単一素子トランスジューサの場合、異なる横方向位置における横波位相遅延を測定するためにプッシュパルスの繰り返し発射を要するが、その結果として繰り返しの組織の加熱が生じる。

【0038】

一方、トラッキングがアレイトランスジューサにより実施される場合、繰り返しのプッシュの必要性は、本明細書における提案により緩和される。

20

【0039】

更に、1つの単一アレイトランスジューサは、プッシング及びトラッキングの両機能を果たすことができる。両用単一アレイトランスジューサは、当該システムを一層小型にし及び制御を容易にさせるであろう。しかしながら、この構成は、単一のトランスジューサにより音響放射圧を発生すると共に結果としての横波115を画像化することが可能となることを保証するために、より多くのハードウェア及びソフトウェアのサポートを要する。上記単一トランスジューサは、横方向及び高さ方向のプッシュ及び/又はトラッキングパルス位置を許容する複列アレイ (1.75若しくは2Dトランスジューサ) 又は単列アレイ (1Dトランスジューサ) とすることができる。

【0040】

進んだ2Dアレイ技術は、トラッキングパルスが3D次元で送信されるのを可能にするであろうが、下記の説明は軸方向/横方向面内で組織運動をトラッキングするものに関するものである。同じ扱いが、一般性を失うことなく、軸方向/高さ方向の面にも当てはまる。

30

【0041】

トラッキングパルス108、112は、 r なる位置間距離128により空間的に隔られた各位置120、148を目標とする。該距離128は、典型的には、ミリメートルの範囲である。何故なら、横波115は伝搬距離に伴い減衰するからである。y軸136上で表される振幅 (又は変位) 132が測定される。サンプリング周波数に関してナイキスト閾が満たされるならば、上記振幅132に基づいて、位置120における θ_1 なる位相140を導出することができる。ナイキスト閾は、十分なフレームレートにより、即ち十分な周波数での位置120上の複数のサンプリングパスにより満たすことができる。

40

【0042】

図2は、順次のSDUVトラッキングの一例を示す。如何なるプッシュパルス114が当該関心領域 (ROI) を振動させる前に、基準トラッキングパルス202、204、206、208が、各サンプリング位置 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 を目標として発する。該位置 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 は、点 x_0 から半径方向外側に、即ちプッシュパルスにより形成されるべき横波115の伝搬方向に、整列される。基準トラッキングパルス202、204、206、208には、エコー210、212、214、216が各々後続する。次いで、横波115が位置 x_0 に、即ち励起点の場所に確立される。これは、典型的には約

50

100 Hz であり得るプッシュ周波数で発射されるプッシュパルス 218 の初期系列 (図 2 には図示されていない) によりなされる。プッシュパルス 218 のトラッキングシーケンス開始の着手は、波 115 が確立されたら発し得る。トラッキングパルス 222、224、226、228 のパス (一連動作) 220 が、パルス毎に直列にステアリングされて後続する。該トラッキングパルス 222、224、226、228 は、各サンプリング位置 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 を目標とする。パルス 222、224、226、228 の各々には、対応するエコー 230、232、234、236 が後続し、次いで、これらから対応する受信 A ラインがビーム形成される。パス 220 は、2 kHz なる同位置トラッキング周波数 238 で生じる。従って、プッシュ 218 には 20 個のパス (即ち、"フレーム") 220 が後続することができる。また、2 kHz なる同位置トラッキング周波数 238 は約 1 kHz (ナイキスト閾) までの周波数の成分 116 の位相測定を可能にする。トラッキングパルス 222、224、226、228 の各々は、ナイキスト閾の生来の限界内で当該周波数成分の各々の測定を同時に提供するように作用することができる。

10

【 0043 】

通常の B モード画像化が用いられる。即ち、トラッキングパルス 222、224、226、228 は、電子的に収束されると共に、2 つの隣接するプッシュパルス 218 の間で異なる位置 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 に横方向に前後にステアリングされる。従って、異なる位置 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 における受信 A ラインが順次形成される。

【 0044 】

各 B モードフレーム内の送信ラインの数は、横波 115 のためのサンプリング PRF (パルス繰り返し周波数) が十分に高くなるように制限されるべきである。図 2 に見られるように、例えば、各位置 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 に対して、同位置トラッキング周波数 238 は 2 kHz (PRF₂) である一方、送信 A ライン周波数 242 は 8 kHz (PRF₃) である。これは、例示に過ぎない。測定される最高高調波が 400 Hz である場合、このことは、検出パルス (所与の方向において横方向に同一的) は、例えば 1000 Hz の最少レートで発射される (ナイキストを越える僅かな余裕を可能にする)。この場合、PRF₂ は 1 kHz に設定されるであろう。従って、ビームを 8 kHz / 1 kHz = 8 個の位置に送信することが可能である。

20

【 0045 】

横波速度推定のために要する SDUV 情報の全てを得るためには、単一のプッシュ / トラッキングシーケンス 240 のみが必要とされる。より速いデータ収集が、単点 " 仮想生体検査 (バイオプシ) " ツールから可能性のあるリアルタイム画像化方式へ SDUV の技術を進歩させるための重要要件である。また、特に、組織及びトランスジューサ内で発生される熱を、横波トラッキングのために観察される横方向位置 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 ... の数を維持しながら減少させることができる。また、該より速いデータ収集は、横波変位推定におけるノイズを低減することができ、従って、さもなければ組織が異なるプッシュ / トラッキングシーケンス 240 の過程にわたって受け得る呼吸運動等の大きな時間スケールのノイズを回避することができる。

30

【 0046 】

図 3 は、図 2 の時間軸に対応するフローチャートである。焦点が、第 1 位置 x_1 に設定される (ステップ S304)。現トラッキング基準パルス 202 が放出される (ステップ S308)。該パルスのエコー 210 が続く (ステップ S312)。もっと測定されるべき位置 (即ち、 x_2 、 x_3 、 x_4) が存在するなら (ステップ S316)、焦点が次の位置にステアリングされ (ステップ S320)、該次の位置を現位置として当該処理はトラッキング基準パルス放出ステップ S308 に戻る。一方、測定されるべき更なる位置がない場合 (ステップ S316)、プッシュパルス 218 が連続的に発射されて、横波 115 を達成する (ステップ S324)。次いで、焦点は第 1 位置 x_1 に設定される (ステップ S328)。そして、現トラッキングパルス 222 が放出され (ステップ S330)、該パルスのエコー 230 が戻る (ステップ S332)。現在のパス 220 で発すべき更なるトラッキングパルス (即ち、224、226、228) がある場合 (ステップ S333)

40

50

、焦点は対応する次の位置に設定され(ステップS334)、当該処理は、上記次の位置を現位置として、トラッキングパルス放出ステップS330に戻る。それ以外で、放出されるべき次のトラッキングパルスが存在しない場合、位置 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 に対して他のパスがなされるべきかについての質問がなされる(ステップS336)。次のパスがなされるべき場合、該次のパスが現パスとなされ(ステップS340)、当該処理はステップS328において該次のパスの始めに戻る。しかしながら、なされるべき次のパス220が存在しない場合(現プッシュ/トラッキングシーケンス240において)、サンプリングは完了する。本提案技術においては、横波速度のSDUVによる決定のため、及び実用的な実施例において組織の弾性及び粘度の計算のために要するサンプリングの全てを提供するのに、単一のプッシュ/トラッキングシーケンス240で十分である。

10

【0047】

図4は、16xマルチラインビーム形成器、即ち1つの送信ビーム(又は、略して"送信")から16本の受信ラインを形成するビーム形成器上で実施化された適応的ダイナミック送信(RDT)を用いたSDUVサンプル収集方式400の一例を示す。

【0048】

マルチラインビーム形成器によれば、SDUVサンプリングは依然として順次のもの(シーケンシャル)であるが、一群の空間的位置によるものである。各群に対して、送信ビームが放出される。ROIが送信ビームの焦点とはことなる深さに位置する場合、該送信ビームは焦点におけるものより広くなり、当該群の空間位置を超音波照射する。他の例として、当該ビームはROIと同じ深さにおいて、当該群の位置を超音波照射するのに十分な広さで、弱く収束させることができる。

20

【0049】

単一のトラッキングパルス404から形成される送信ビームのエコーから、16xのビーム形成回路が、単色横波116の測定を行うための16本の平行方向の(in-parallel-directed)受信ライン411~426を形成する。対角線のサブアパーチャトラッキングライン427により示されるように、最初の8本の受信ライン411~418は当該送信の中心の一方の側にあり、第2の8本の受信ライン419~426は他方の側にある。

【0050】

他のトラッキングパルス428、429、430及び最初のトラッキングパルス404は、全て異なるタイミングである。例えば、送信Aライン(又は"トラッキングパルス")PRF242が10kHzに等しく設定された場合、単一トラッキングパルス404は、次のトラッキングパルス428より100 μ s前に発する。100 μ s後に、次のパルス429が発射し、等々となる。

30

【0051】

トラッキングパルス404、428、429、430の各々は、当該トラッキングプロープの対応するその時点で活性なサブアパーチャにより形成される。該活性なサブアパーチャは、トランスジューサ素子のうちの、超音波を送信するために現在活性な部分群である。このように、例えば、トラッキングパルス404が発射した後、現在活性なサブアパーチャはずれる(例えば、当該アパーチャの一方の側の1以上の素子が除外され、他方の側の1以上の素子が含まれる)。次いで次のトラッキングパルス428が発射する場合、該パルスは当該ずらされたサブアパーチャから生じる。隣接するアパーチャの間の空間的距離は、以下では、送信間隔434と称され、該送信間隔は、本例では、0.5mmである。トラッキングパルスの焦点も、連続するトラッキングパルスの中で該送信間隔434だけずれる。

40

【0052】

16本の平行方向の受信ライン411~426(即ち、空間的に平行な動的に形成される受信ライン)は、送信404の後に受信されるエコーから形成される。受信ライン411~426の各々は、受信サブアパーチャにより形成される。該受信サブアパーチャは、所与の受信ラインに貢献するトランスジューサ素子の部分群である。

【0053】

50

受信ライン 4 1 1 ~ 4 2 6 の間の空間的距離は、以下、受信間隔 4 3 8 と称される。本例では、該受信間隔は、0.125 mm、即ち 0.5 mm なる送信間隔 4 3 4 の四分の一である。

【 0 0 5 4 】

受信間隔 4 3 8 を送信間隔 4 3 4 の分数にすることは、更に詳細に後述するように、一層密なサンプリングを可能にする。

【 0 0 5 5 】

収集されたラジオ周波数データの全ては、一時メモリに退避される。収集されたデータの保持は、サブアパーチャがずれ、最終的に当該トランスジューサアレイにおける最終位置となるまで、即ち全パスのデータが収集されるまで継続する。更に、データはパス毎に保持される。

10

【 0 0 5 6 】

最初のトラッキングパルス 4 0 4 及び次のトラッキングパルス 4 2 8 の発射の間のサブアパーチャにおけるずれにより、該最初のパルスの最後の 1 2 本の受信ライン 4 1 5 ~ 4 2 6 は、該次のパルスの最初の 1 2 本の受信ラインと、各々、空間的に重なり合う。同様に、各々の後続するトラッキングパルスとのサブアパーチャのずれにより、トラッキングパルス 4 2 8 の最後の 1 2 本の受信ラインは次のトラッキングパルス 4 2 9 の最初の 1 2 本の受信ラインと重なり合い、等々となる。

【 0 0 5 7 】

4 番目のトラッキングパルス 4 3 0 の発射時点まで、4 つの全てのトラッキングパルス 4 0 4、4 2 8、4 2 9、4 3 0 の各受信ラインは重なり合い、4 つの再生された A ライン 4 4 1 ~ 4 4 4 を形成するよう組み合わせることができる。

20

【 0 0 5 8 】

例えば、最初の再生 A ライン 4 4 1 は、最初の受信ライン 4 2 3 の、直後に後続するトラッキングパルス 4 2 8 ~ 4 3 0 の 3 つの対応する受信ラインとの組み合わせから形成される。該組み合わせは、遡及的ダイナミック送信 (RDT) に従って行われる。RDT 収束の効果は、1996 年に Passman 及び Ermert により提案された仮想トランスジューサ近似を用いて分析することができる。IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, vol.43, no.4, pp.545-52 (1996) の C. Passmann 及び H. Ermert による "A 100-MHz ultrasound imaging system for dermatologic and ophthalmologic diagnostics" を参照されたい。この技術は、"Retrospective Dynamic Transmit Focusing for Spatial Compounding" なる名称の Burcher 他による共同出願された米国特許出願公開第 2009/0069693 号 (以下、"693 公報" と称する) に更に詳細に説明されている。両文献の開示は、参照により、全体として本明細書に組み込まれるものである。

30

【 0 0 5 9 】

最初の再生 A ライン 4 4 1 は、空間位置 4 5 1 における横波 1 1 5 を測定するためのものである。同様に、直後に後続する再生 A ライン 4 4 2 ~ 4 4 4 (これらは、最初の再生 A ライン 4 4 1 から横方向にオフセットされている) は、各空間位置 4 5 2 ~ 4 5 4 における横波 1 1 5 を測定するためのものである。

【 0 0 6 0 】

ここでは再生 A ライン毎に 4 つの受信ラインが組み合わせ可能となっているが、より少ない受信ラインを組み合わせることもできる。実際に組み合わせられる数は、ROI の深さ、及びトラッキングパルスによる該 ROI の結果的な超音波照射範囲 (coverage) に依存する。また、本例は、限定するものではない。このように、アパーチャのずれは、再生 A ラインを形成するために一層多くの又は一層少ない受信ラインが組み合わせ可能となる度合までとすることができる。

40

【 0 0 6 1 】

上記組み合わせにより、被写界深度 (DOF)、即ち前記送信が良好に焦点合わせされる領域、及び信号対雑音比 (SNR) が向上される。再生 A ライン 4 4 1 を、該 A ラインが再生される受信 A ラインの何れに対して比較しても、その空間解像度が有効である距離

50

は、RDTにより付与される一層大きなDOFにより増加されている。

【0062】

可能性として4つの受信ラインに基づくAラインの再生は、最初の4つの再生Aライン441～444で開始し、新たな各トラッキングパルスで進行する。このように、次のトラッキングパルスは、各空間位置での4つの新たな再生Aラインの形成を可能にする。同様に、フレームの残りに対して、後続の各トラッキングパルスの結果、対応する複数の再生Aラインが形成され、該複数とは、本例では、4つの再生Aラインからなる。

【0063】

従って、横波115は、トラッキングが発するペースの低減無しに、精細にサンプリングされる。

10

【0064】

受信焦点位置が千鳥状に重なり合うのではなく、互いに隣接するだけであるような比RDT実施例も可能であることも分かる。横波115は、それでも、トラッキングパルスの送出のペースの低減無しに精細にサンプリングされる。トラッキングパルス当たりの平行方向の受信ラインの数は4つ、例えば当該トラッキングビームの一方の側に2つ、他方の側に2つ、とすることができる。

【0065】

図5は、RDTの状況での、トラッキングパルス404により形成された検出ビーム508の焦点504の可能性のある配置を示す。四角形の輪郭により示された関心領域(ROI)512は、横波516が存在する場所である。該検出ビーム508による超音波照射が、収集されるべき受信ラインによりサンプリングされるべき位置に及ぶことを保証するために、焦点504をROI512に対して深く配置することが有利であろう。図5に示される物理的焦点位置は、70mmであり、当該ROI内の所与の点を超音波照射する送信にとり、従ってRDT組み合わせられるべき共通の深さ(common depth)518である。検出ビーム508はROI512の深さ520では広いが、RDT再生検出ビームは、この位置では、狭いであろう、即ち(物理的)焦点504におけるのと同じ幅を有するであろう。実際には、そして例示として、時間的に最初のトラッキングパルス404、及び該時間的に最初のトラッキングパルスのものとRDT組み合わせられるべき送信を形成する少なくとも1つの横方向にオフセットされたトラッキングパルス428～430の中から、少なくとも幾つかは共通の深さ518に収束される。深さ520への一層浅い送信焦点は、共通の深さ518に収束されたパルス404、428、429、430のものからエコーデータに基づいて再生される。

20

30

【0066】

このことは、より大きな送信アパーチャ524の使用を可能にし、これは検出ビーム508で送信することが可能な全パワーを増加させ得る。より多くのパワーは、約10 μ m程度の小さな波幅の変位132に対して一層大きな感度を提供する。

【0067】

他の例として、検出ビーム508の焦点504は、ROI512に対して浅く配置することもできる。

【0068】

SDUVに対してRDTを適用する場合、追加の配慮事項が存在する。

40

【0069】

第1に、RDTは、送信イベントの間では当該組織が動かないと仮定している。変位が生じた場合、組み合わせられる送信の間のコヒーレンスを低下させ、信号の相殺につながる。したがって、このことはSDUVとは相性が悪いと思われる。何故なら、当該組織は横波により変位されるからである。しかしながら、実際には、変位132は、これがトラッキングパルスの波長(例えば、5MHzにおいて300 μ m)の小さな部分である程度の小さな大きさのもの(典型的には、<10 μ m)である。従って、横波の変位132は、送信再生の間におけるコヒーレンスの如何なる大きな喪失も生じさせることはないであろう。

50

【 0 0 7 0 】

第2に、非マルチラインシーケンスによっても、異なる横方向位置 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 におけるビームは順次に発射されるので、異なる横方向位置における変位推定は異なる時点 t_1 、 t_2 ... においてサンプリングされる。

【 0 0 7 1 】

図1に戻り、説明の簡略化のために例えば非マルチラインシーケンスを仮定すると、サンプリング時点 t_1 、 t_2 が同時であったなら、トラッキングパルス 1 1 2 からの戻りデータ（即ち、エコー）は、第1波形 1 1 6 上のサンプリング点 1 4 8 に対応する位相 1 4 2 を示唆しているであろう。

【 0 0 7 2 】

しかしながら、これら2つの位置 1 2 0、1 2 4 に対してトラッキングパルスが順次に発射される場合、サンプリング時点 t_1 、 t_2 は同時にならない。（同様に、フレーム内で再生 A ライン 4 4 4 に後続する再生 A ラインは、異なる時点における波 1 1 5 のサンプルであろう。）

【 0 0 7 3 】

事実、時点 t_2 までに、横波成分 1 1 6 は、第2トレース 1 4 4 により表された周波数成分を持つ波形のように、前方に伝搬している。

【 0 0 7 4 】

第2トレース 1 4 4 上の ϕ_2 なる対応するサンプリングされた位相 1 5 2 は、第1トレース 1 1 6 上の ϕ_1 なる位相とは、 $\phi_2 = \phi_1 + \Delta\phi$ だけ相違している。

【 0 0 7 5 】

図1から分かるように、 $\Delta\phi$ は t なるサンプル間遅延の位相補正 1 5 6 だけ小さく、ここで " ω " は単色横波 1 1 6 の角周波数を表し、" t " は各サンプリング時点において2つのサンプルをとる間の遅延を示す。

【 0 0 7 6 】

それでも、 $\Delta\phi$ 及び t と共に横波周波数成分 1 1 6 の伝搬速度を定めるのは位相 1 4 0、1 4 2 の間の差である。

【 0 0 7 7 】

該差は、位相差 $\Delta\phi$ に、 ωt なるサンプル間遅延の位相補正 1 5 6 を加算することにより計算される。

【 0 0 7 8 】

単色横波 1 1 6 の速度は、下記の式により与えられる：

【 数 1 】

$$c_s(\omega) = \frac{\omega \Delta r}{\Delta\phi + \omega \Delta t}$$

【 0 0 7 9 】

式1の導出は下記の通りである。

【 0 0 8 0 】

$c_s(\omega) = \lambda f$ であり、ここで、 c_s は伝搬速度であり、 λ は波長であり、" ω " は単色横波 1 1 6 の角周波数を表し、 f は当該波の周波数である。

【 0 0 8 1 】

また、 $\Delta r = 2 \lambda f$ であり、 $r = \lambda f / 2$ であり、ここで、 Δt は同時にとられるサンプルの間の所与の時点に対する位相差を表す。

【 0 0 8 2 】

全てのパラメータは正であると仮定される。

【 0 0 8 3 】

値を代入すると、

10

20

30

40

【数 2】

$$c_s(\omega) = \frac{\omega \Delta r}{\Delta \phi}$$

が得られる。

【0084】

時点 t_1 、 t_2 にとられる 2 つの異なる時点のサンプルの間のサンプル間遅延を考慮するために、 t なるサンプル間遅延位相補正 156 が に加算され、図 1 に関連して上述したように、式 1 に到達する。

【0085】

同じ現象が RDT シーケンスに対しても生じ、異なるように向けられると共に異なる時点で取得される A ライン（例えば、再生 A ライン 444 及び当該フレーム内で後に取得される再生 A ライン）に基づいて振幅情報を抽出する場合に、考慮に入れられなければならない。

【0086】

これを式 1 の適用において考慮するために、RDT が送信を組み合わせる中間送信位置を補間する場合（693 公報に開示されているように）、サンプル時点（及びサンプル位置）が送信の間に補間される。言い換えると、パルス発射時点の場合、及び発射に際しての送信位置（例えば、再生において使用される送信のためのサブアパーチャトラッキングライン 427 に沿うもの）の場合、これらは同一の RDT 補間重みにより補間される。このように、式 1 への代入のために t 及び r を計算することができる。

【0087】

式 1 は、横波伝搬の（半径方向の）外側方向へのトラッキング、即ちトラッキングパルスの放出を仮定していることがわかる。トラッキングが逆方向に実行される場合、分母における "+" 符号は "-" 符号となる。同様の推論により、パス 20 に伴いトラッキング方向が入れ替わる場合、1 対の空間位置 120、124 に対する 計算は、隣のパスに基づいてなされた同じ計算と平均化することができ、かくして分母は単に avg となる。

【0088】

また、式 1 は、2 つの異なる位置のサンプルは異なる時点で取得されたと仮定している。

【0089】

図 2 及び 3 に示された非 RDT で非マルチラインの例においては、異なる位置のサンプルは異なる時点で取得される。

【0090】

非 RDT、マルチラインの実施例においては、所与の送信の受信ラインは異なる時点ではない。従って、 t なるサンプル間遅延の位相補正 156 は、所与の送信の受信ラインに基づく（もしあるなら）速度計算に関しては、式 1 の分母から省略される。しかしながら、それ以外では、式 1 は、そのまま、使用される。

【0091】

RDT の前後関係では、当該フレームにおける再生 A ライン 444 に後続する再生 A ラインは、異なる時点における波 115 のサンプルであろう。同様に、再生 A ライン 441 ~ 444 は概して異なるサンプル時点を有し、後者は送信発射時点の各補間に基づくものである。これらの各補間は、各々、再生されるべき A ラインに沿う目標位置における送信場強度に比例した異なる補間重みを使用する。この場合、典型的には、最初の再生 A ライン 441 は、速度計算の目的で、直後の再生 A ライン 442 より早いサンプリング時刻を有するであろう。したがって、式 1 は、そのまま、適用可能である。

【0092】

図 6 は、インターレースされたサンプリング方式 600 を例示している。該方式は、マルチラインビーム形成器又は RDT には依存しない。従って、簡略化のために、トラッキングパルス 222 当たり単一の受信ラインのみを形成することが可能な基本的なビーム形

10

20

30

40

50

成器に関して説明する。x軸604は、第1サンプリング位置 x_1 からの、ミリメートルでの、横方向位置である。y軸608は、第1トラッキングパルス222から生じる時間である。大きさが示されていない測定された変位616の運動場612が表されている。サンプリング位置 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 に対する幾つかのサンプリングパスに関して観察結果が示されている。

【0093】

本発明者は、序数的に適切に離隔されたパターン（例えば、1番目、4番目、7番目、10番目...）に合致するサンプルが伝搬波に、位相的に定位置に又は概ねそのように、"乗る"ようなサンプル方式を形成するのが望ましいであろうと考えた。従って、変位616の各々は略同じであり、これによりサンプリングのアーチファクトを低減する。このような工夫は、厳しいPRF及び他の実施化制約に直面する場合に特に有益である。

10

【0094】

前述したように、時間的なサンプリングのレートは、横波の最大周波数により制限される。400Hzの横波をサンプリングするには、優に、少なくとも1000Hzの時間的なサンプリングレートを必要とする。代わりに、全サンプリングレート（全位置に対する）は、画像化深度により許される最大PRF242により制約される。最大PRF242は、一例に関連して前述したように、10kHzであり得、このことは、多くて10の空間位置をエイリアシング等のサンプリングアーチファクトの出現の危険性無しでサンプリングすることができることを決定づける。

【0095】

20

要約すると、確かさのためには測定の数を増加させるために多くの横方向位置 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 をサンプリングすることが望ましい。PRFはサンプリングアーチファクトなしで十分な位置がサンプリングされるのを可能にするために十分に大きくなければならないが、横方向位置の数は、上述したように、最大PRF242により制限される。

【0096】

横波の振幅の減衰（これは、振幅を測定するのを困難にさせる）を回避するために、横方向位置は可能な限り励起点 x_0 に近くすることも有益である。もっとも、第1横方向位置 x_1 は、近接場効果（near-field effects）により、その励起点への近さが制限される。しかしながら、位置 x_i 、 x_{i+1} の間の近さは、他の工学的考慮により制約される。

【0097】

30

或るパスにおけるサンプリングが次のパスにおけるサンプリングと位置的にインターリーブされるようなインターレースされたサンプリング方式600は、測定されるべき運動場が高度に構造化されている、即ち限られた範囲の速度の横波116からなるという事実を、第1位に、利用する。

【0098】

第2に、位置及び時間に各々関係する2つの軸604、608の性質は、サンプリングする連続した位置 x_i 、 x_{i+1} 、 x_{i+2} 、...が一定のトラッキングパルスの並進（translation）速度を暗示するようなものである。これが、図6において、観測結果の第1行620から分かる。これらは、一定の傾斜のラインを暗示しているから、一定したトラッキングパルス並進速度を暗示している。この前後関係において、該一定のトラッキングパルスの"並進"に関しては、当該ビームが非平行態様でステアリングされた場合、上記"並進"は横方向位置 x_i 、 x_{i+1} の間で発生すると考えられる。

40

【0099】

しかしながら、上述した設計判定基準は、単色波速度 c_s の何れよりも高い並進速度を必要とする。

【0100】

けれども、一層遅い一定のトラッキングパルス並進速度は、別のパス220により、2つの連続する位置 x_i 、 x_{i+1} のサンプリングに精査を限定することにより認識可能である。これが斜めのライン624により例示されており、2つの位置 x_i 、 x_{i+1} における関心のあるサンプリングが連続するパス220内にあることを特徴とする。

50

【 0 1 0 1 】

一層高い及び一層遅い速度パターンの同様の現象が、非インターレース運動場、即ち各パス 2 2 0 において連続する位置 x_i 、 x_{i+1} が位置を飛び越すことなしにサンプリングされるような場に対しても存在する。

【 0 1 0 2 】

しかしながら、サンプリングをインターレースすることは、より多くの異なる一定したトラッキングパルス並進速度を生成し、これにより目標の横波 1 1 6 の速度との一致（又はライン 6 2 4 から分かるような略一致）を達成する可能性を増加させるツールである。このような技術に対する必要性は、前述した設計制約が与えられた場合に、並進速度を変えるためにパラメータをそれ以外に操作することの困難さ故に生じる。特に、サンプリングをインターレースする結果、同一の数のサンプルも得られる。また、一定に留まるトラッキングパルスの P R F 2 4 2 に悪影響を与えることもない。

10

【 0 1 0 3 】

図 6 から分かるように、運動場 6 1 2 は、中央の斜めのライン 6 2 4 に平行な観察ラインに区分可能である。

【 0 1 0 4 】

結果としてのサンプリングアーチファクトの減少は、より精細な空間サンプリングの如何なる潜在的な副作用も軽減するよう作用し得る。

【 0 1 0 5 】

図 7 は、組織の剪断弾性及び粘度を如何にして決定するかの特例としての特定の実施例を示す。横波 1 1 5 の第 1 成分 1 1 6（例えば、基本波）が、現成分として選択される（ステップ S 7 0 4）。R D T の前後関係においては、時間的に最初の再生 A ライン 4 4 1 ~ 4 4 4、当該フレーム内の後続のもの、及び他のフレームのものからなるエコー R F データが、例えばマルチラインサンプル収集方式 4 0 0 に従って収集される（ステップ S 7 0 8）。空間位置 4 5 1 ~ 4 5 4 ... の各々に対して、当該位置における再生 A ラインが、各々、対応する再生 A ラインと比較され、当該位置における現在の波の成分 1 1 6 の変位 1 3 2 を決定する。相互相関又はドブラ方法等の多数の既知の方法を、該変位 1 3 2 を計算するために使用することができる。

20

【 0 1 0 6 】

同様に、非 R D T マルチライン及び非マルチラインの前後関係においては、同位置サンプルが比較される（ステップ S 7 1 2）。

30

【 0 1 0 7 】

ここで提案される方法による一層精細なサンプリング故に、幾つかの実施例では、オプションとして、測定におけるノイズを低減するために、測定値 1 3 2 に対してローパスフィルタ（L P F）が適用される。位置及び時間次元 6 0 4、6 0 8 で作用するために、該 L P F は二次元フィルタとすることができる。このようなフィルタの一例は、ガウスカネル等の異方性フィルタであろう：

【 数 3 】

$$kg = \exp(-(r^2 / \sigma_1^2 + t^2 / \sigma_2^2))$$

40

ここで、" r " は位置を表し、" t " は時間を表し、 σ_1 及び σ_2 は、各々、当該フィルタの空間的及び時間的次元におけるサイズを制御する。

【 0 1 0 8 】

運動場 6 1 2 が単一の横波 1 1 6 からなる場合、一定の変位の該運動場上の等高線（contour）は（即ち、インターレース方式 6 0 0 は、軸 6 0 4、6 0 8 上の適切なサンプル間隔により、本質的に一定な変位 6 1 6 の斜めのライン 6 2 4 が結果として生じるように構成されている故に）、右下に傾斜する直線であり、該直線の傾斜又は"勾配"は横波 1 1 6 の速度により決定される。

【 0 1 0 9 】

運動場 6 1 2 は変位 6 1 6 の二次元マトリクスにより表すことができ、一方の次元は位

50

置であり、他方は時間である。同様に、前記式 1 の右辺上の式が、他の二次元マトリクスを形成するように評価され、これら 2 つのマトリクスは畳み込まれて、測定値 6 1 6 におけるノイズを低減する。

【 0 1 1 0 】

他のフィルタはステアリングされるフィルタ (steered filter) :

【数 4】

$$ks = \exp(-(u^2 / \sigma_3^2 + v^2 / \sigma_4^2))$$

$$u = r + cs \times t$$

$$v = r - cs \times t$$

10

であり、ここで、cs は当該フィルタの角度 (速度を表す) であり、"u" は速度 cs で前方に伝搬する波の輪郭に整列された方向におけるものであり、"v" は速度 cs で後方に (即ち、励起点 x_0 に向かって) 伝搬するように仮定され得る仮想波の輪郭に整列された逆方向におけるものである。サイズ決めパラメータ σ_3 、 σ_4 は、当該フィルタの 2 つの方向、u 及び v におけるサイズを制御する。典型的には、より多くの平滑化が u 方向よりも v 方向に適用されるように、 σ_3 は σ_4 より大きいであろう。

【 0 1 1 1 】

運動場 6 1 2 が速度 cs で前方に伝搬する単一の横波 1 1 6 からなる場合、一定の v のラインは、該運動場上の一定の変位の等高線に沿って位置する。式 3 におけるフィルタカーネル ks は、運動場 6 1 2 と位置合わせされる。この前後関係では、当該フィルタの角度は、横波 1 1 6 の推測的な速度により与えられる。オプションとして、該フィルタ角度は、当該横波速度の現推定を用いて反復的に調整することができる。

20

【 0 1 1 2 】

カーネル ks を測定値 1 3 2 と畳み込むことは、上記等高線に対して垂直方向よりも平行方向に一層滑らかにする。従って、所与の量のノイズ低減に対して、等方性フィルタよりも運動場 6 1 2 の構造を一層良好に保存する傾向がある (ステップ S 7 1 6)。

【 0 1 1 3 】

式 1 によるように、異なる空間位置 x_i 、 x_j における横波 1 1 6 の位相の間の差を決定するための代替案は、各々が固有の候補波速度に同調された二次元フィルタのバンクを適用することである。

30

【 0 1 1 4 】

斯かるフィルタバンクが適用されるべき場合 (ステップ S 7 2 0)、予測される範囲の波速度をカバーする複数のフィルタが使用される。運動場 6 1 2 は斯かるフィルタの各々と畳み込まれる (順に又は並列に)。最大の出力を持つフィルタが、波速度の最良の推定として採られる。当該処理は反復することができ、上記フィルタを現推定値に対して一層密に離隔された波速度の選択に同調させることにより当該推定値を一層正確にする。

【 0 1 1 5 】

一例として、運動場は :

【数 5】

$$d(r, t) = d(n\Delta r, m\Delta t)$$

40

の形で表され、ここで、"r" は横方向位置であり、"t" は取得時間であり、"n" 及び "m" はサンプル指標であり、 Δr は横方向サンプリング間隔であり、 Δt は同一横方向位置における変位サンプルの間の時間である。

【 0 1 1 6 】

この例における運動場は、説明の簡略化のために、"t" の初期値が ("r" のように) 暗黙的に初期的に零であるような規則的な、均一に離隔された格子を特徴とする。この場合、これは、インターレースされたサンプリング方式 6 0 0 というより、非インターレースパターンでのサンプリングに対応する。しかしながら、この例は、上述した式 4 並びに下

50

記の式 5 及び式 6 を適切に修正することにより、インターレースされたサンプリング方式に適應させることもできる。

【 0 1 1 7 】

本例でもって続けると、 c_{si} なる波速度に対応するフィルタは同相カーネル：

【 数 6 】

$$ki(c_{si}, r, t) = \sin(2\pi / \lambda_s * (n\Delta r - c_{si} * m\Delta t))$$

及び直交カーネル：

【 数 7 】

$$kq(c_{si}, r, t) = \cos(2\pi / \lambda_s * (n\Delta r - c_{si} * m\Delta t))$$

10

を有する。ここで、 λ_s は横波 1 1 6 の波長である。該フィルタの出力は：

【 数 8 】

$$y(c_{si}) = (\sum_{r,t} d(r,t) \times ki(c_{si}, r, t))^2 + (\sum_{r,t} d(r,t) \times kq(c_{si}, r, t))^2$$

により与えられる。

【 0 1 1 8 】

第 1 フィルタのカーネルを導出するために、 c_{si} の先験的推測値が式 5 及び式 6 に使用される。次いで、これらカーネルは式 7 に適用され、第 1 出力を生じる。当該バンクにおける他のフィルタは、式 5 及び式 6 における c_{si} の値を変化させ、式 7 において $y(c_{si})$ を再計算することにより発生される。横波 1 1 6 の速度は、 $y(c_{si})$ が最大値を有するような c_{si} の値により与えられる。

20

【 0 1 1 9 】

カーネルをウインドウ処理することにより、改善された結果を得ることができる。このことは、上記カーネル及びサンプリングされたデータの有限の広がりの結果としての切り捨てにより生じるバイアスを軽減する（ステップ S 7 2 4 ）。

【 0 1 2 0 】

再びステップ S 7 2 0 を参照すると、フィルタバンクの代わりに、位相差に基づく波速度計算がなされるべき場合、該計算に対する入力パラメータが導出される。即ち、変位 1 3 2 に対して位相 が決定される。これは、ナイキスト再生により所与の空間位置 4 5 1、4 5 2、4 5 3、4 5 4、... において観察される変位 1 3 2 に基づいて実行することができる。異なる空間位置の各々に対して実行される。式 1 に代入されるべき位相差 を推定するために、位相差 $\phi = \phi_2 - \phi_1$ が対毎に計算される。これらの位相差計算は、例えば時間的に最初の再生 A ライン 4 4 4 及び当該フレームにおける何れかの後続のものの場合におけるように、異なる時点で取得される各サンプルに対して実行される。異なる時点のサンプルに対して計算された位相差 は、 Δt なるサンプル間遅延位相補正 1 5 6 を用いて、各々、補正される。選択される上記対の少なくとも幾つかは、当該計算の精度を改善するために、空間的に相対的に遠く離れたものとすることができる。最小二乗分析を、上記位相差（場合より、補正されたもの又は補正されていないもの）及び r なる斯かる位相差の対応する位置間距離 1 2 8 に対して使用することができる。次いで、式 1（場合により、補正 1 5 6 を伴い又は伴わない）が適用され、現波成分 1 1 6 の速度を推定する（ステップ S 7 2 8 ）。

30

40

【 0 1 2 1 】

いずれの経路（即ち、ステップ S 7 2 4 又は S 7 2 8 を介しての）によっても、現波成分が速度決定を受けるべき最後のものでない場合（ステップ S 7 3 2 ）、次の成分が現成分とされる（ステップ S 7 3 6 ）。

【 0 1 2 2 】

例えばトラッキングパルス P R F 2 4 2 が最も高い高調波に対して十分であったので、前の成分に対して波速度の決定に使用されたのと同じの R F データを現成分に対して使用することができる場合（ステップ S 7 4 0 ）、処理はステップ S 7 1 2 に戻る。それ以外

50

で、現成分に対して更なる収集がなされなければならない場合、処理は、代わりに、ステップS708に戻る。

【0123】

ステップS732において、現波成分が、代わりに、速度決定を受けるべき最後のものである場合、従来良く知られたフォークトモデル (Voigt model) を適用して、剪断弾性及び粘度を決定する (ステップS744)。

【0124】

横波分散超音波振動測定法 (SDUV) は、幾つかの実施例では、単一のトラッキングパルスから、単色横波の測定を行うための平行方向受信ラインを形成するように実施される。幾つかの実施例において、サンプリングは、複数の位置にわたるパスにより空間的位置に対し、当該波の測定を行うためのインターレースされたパターンで実行される。幾つかの実施例では、全て異なる空間位置における波の位相の間の差を決定する必要性無しに、当該波に関して測定がなされ、各測定値に対して、対応する候補波速度に同調されたフィルタのバンクが適用される。

10

【0125】

発射される各トラッキングパルスから一層多くの情報を抽出することにより、ここに提案した方法及び装置は、横波変位場の一層完全なサンプリングを提供する。従って、これは、当該媒体の横波速度及び弾性特性の一層確かな推定を可能にする。

【0126】

ここで提案された方法は、ソフトウェアで、又は1以上の集積回路として実現することが可能なデバイスを含む製造物品において実施することができる。

20

【0127】

RDTを使用する実施例は、例えば16x又は32xのマルチラインビーム形成器等の単一のビーム形成器として形成することができ、ハードウェアはバッファリング及び重なり合う受信ラインの組み合わせのためにのみに追加される。

【0128】

以上、上述した実施例は本発明を限定するというよりは解説するものであり、当業者であれば添付請求項の範囲から逸脱することなしに多くの代替実施例を設計することができることに注意されたい。例えば、ここに開示された方法は、種々の走査幾何学構造 (直線状、フェーズド又は湾曲された) の如何なるものにおいても実施化することができる。また、請求項において、括弧内に配置された参照符号は当該請求項を限定するものと見なしてはならない。また、"有する"なる動詞及びその活用形の使用は、請求項に記載されたものの以外の構成要素又はステップの存在を排除するものではない。また、単数形の構成要素は、複数の斯様な構成要素の存在を排除するものではない。また、本発明は幾つかの個別エレメントを有するハードウェアにより、及びコンピュータ読取可能な媒体を有する適切にプログラムされたコンピュータにより実施化することができる。また、特定的手段が相互に異なる従属請求項に記載されているという単なる事実は、これらの手段の組み合わせを有利に使用することができないということを示すものではない。

30

【 図 1 】

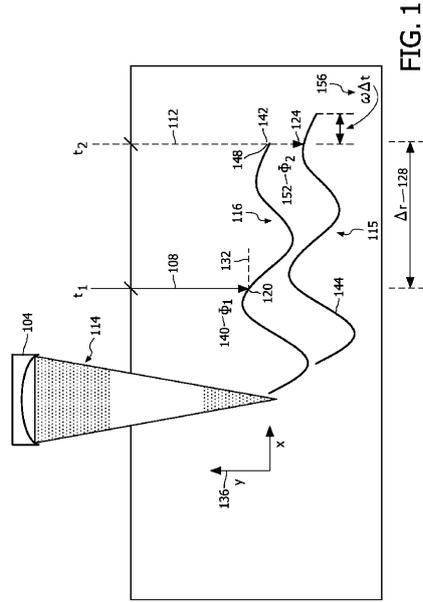


FIG. 1

【 図 2 】

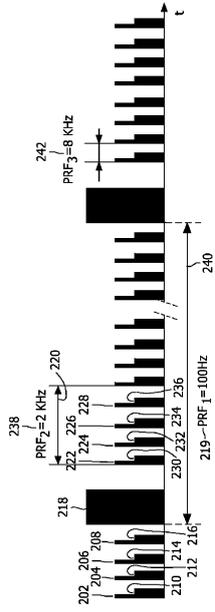


FIG. 2

【 図 3 】

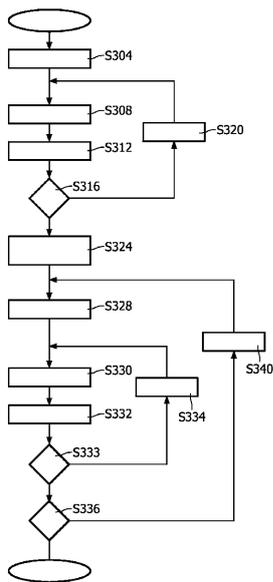


FIG. 3

【 図 4 】

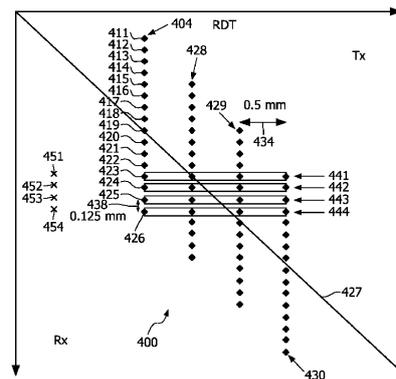


FIG. 4

【 図 5 】

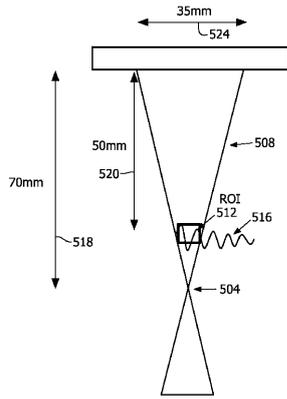
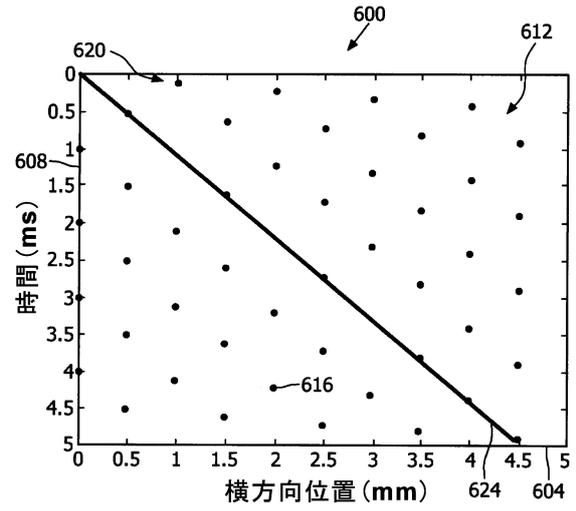


FIG. 5

【 図 6 】



【 図 7 】

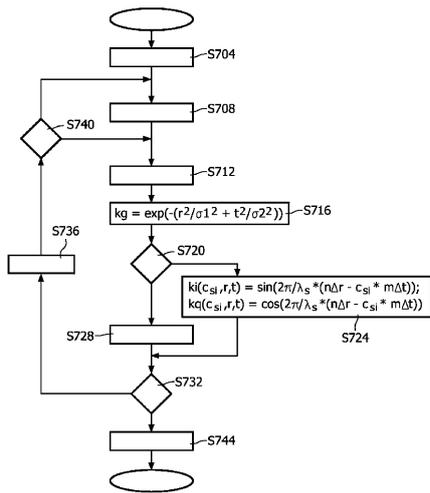


FIG. 7

フロントページの続き

- (72)発明者 バーチャー マイケル アール
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 10510-8001 ブリアクリフ マノアー ピーオー
ボックス 3001 345 スカボロー ロード
- (72)発明者 シエ ファ
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 10510-8001 ブリアクリフ マノアー ピーオー
ボックス 3001 345 スカボロー ロード
- (72)発明者 フェルナンデ アンナ テレサ
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 10510-8001 ブリアクリフ マノアー ピーオー
ボックス 3001 345 スカボロー ロード
- (72)発明者 ロベルト ジャン-リュク
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 10510-8001 ブリアクリフ マノアー ピーオー
ボックス 3001 345 スカボロー ロード

合議体

審判長 三崎 仁
審判官 田中 洋介
審判官 藤田 年彦

- (56)参考文献 特表2010-526626(JP,A)
国際公開第2008/139245号(WO,A1)
特表2009-536854(JP,A)
国際公開第2007/133879号(WO,A1)
特表2002-532119(JP,A)
特開平10-305036(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 8/00-8/15
JSTPlus(JDreamIII)